

基于 CIM 的配电网一体化追踪拓扑

陈根军, 顾全

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏省南京市 211102)

摘要: 依据 IEC 61970 电力系统公共信息模型(CIM)及 IEC 61968 CIM 扩展模型,提出了配电网网络模型的具体实现方法。基于该网络模型,研究了配电网追踪拓扑的主要内容:供电电源追踪和供电范围追踪。文中提出的配电网追踪拓扑方法将变电站内部追踪和站外追踪统一考虑,是一种一体化的追踪拓扑技术。

关键词: 配电网; 追踪拓扑; 供电电源追踪; 供电范围追踪; CIM

中图分类号: TM73; TM727.2

0 引言

为了实现能量控制中心内不同应用、不同系统之间的信息共享和数据交换,IEC TC 57 在 IEC 61970 标准中提出了电力系统公共信息模型(CIM),并在 IEC 61968 标准中提出了 CIM 扩展模型,用于建立电力应用信息共享和数据交换的标准信息模型,其中 CIM 扩展模型特别用于配电网建模。

自从 CIM 推出以来,已被广泛应用于电力系统各应用领域,并取得了良好的效果。虽然 CIM 及其扩展模型在配电系统的应用还不太成熟,但相关工作已经展开。文献[1-2]以配电网三相潮流计算为应用对象,提出了基于 CIM 的配电网模型,并用于配电网三相潮流计算。文献[3]设计了一个资源描述框架(RDF)解析器来实现配电网模型数据的导入导出,并在 IEEE 13 节点系统中进行了三相潮流计算的导入导出验证。文献[4]提出了配电网 CIM 建模的 3 步建模方法,并利用建立的模型进行网损计算。

CIM 及其扩展是一套规范化的、面向对象的抽象模型,如何应用该模型还依赖于应用的具体实现。本文根据配电网的特点和能量管理系统/配电管理系统(EMS/DMS)统一建模的要求,提出了基于 CIM 的配电网建模方法,给出了 CIM 主要模型的类实现方法,以及各模型类之间关系的实现方法。在此基础上,利用该模型,研究了配电网的追踪拓扑,包括供电电源追踪和供电范围追踪。由于变电站内部网络和外部网络统一建模,本文将站内追踪拓扑和站外追踪拓扑进行了统一考虑,提出了配电网一体化追踪拓扑方法,该方法既适用于配电网的站内追踪拓扑,又适用于站外馈线的追踪拓扑。

1 基于 CIM 的配电网建模

配电网建模基于 IEC 61970 CIM 模型及 IEC 61968 CIM 扩展模型。CIM 采用面向对象的类形式来描述各电力系统对象,通过类之间的关系描述各电力系统对象之间的关系,包括继承、关联、聚集等。值得指出的是,CIM 虽然定义了网络模型类,从而规范了网络建模,但它并没有规定模型的具体实现过程,而这也是 IEC 61970 标准的一贯宗旨。以下结合 CIM 及其扩展模型,描述基于 CIM 的配电网建模的主要模型及其具体实现方法。

1.1 设备包容器模型

基于 CIM 的配电网建模的设备包容器模型如图 1 所示。

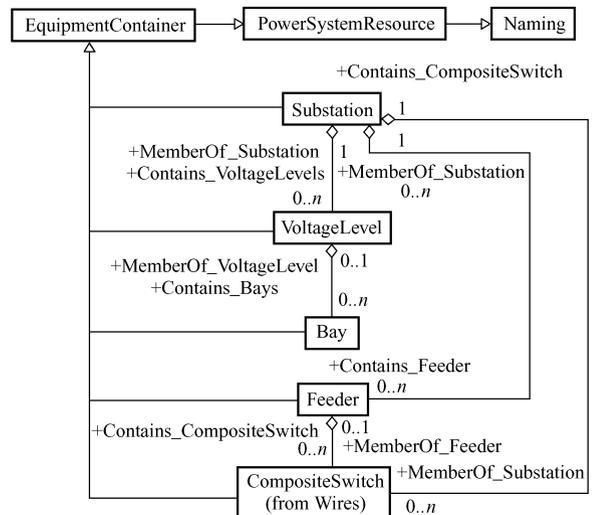


图 1 设备包容器模型
Fig. 1 Equipment container model

所有设备包容器类均从 EquipmentContainer 类继承,包括厂站类(Substation)、电压等级类(VoltageLevel)、间隔类(Bay)、馈线类(Feeder)及

组合开关类(CompositeSwitch)。实际建模时,基类 EquipmentContainer 并不建立实体对象,而将其属性和关联扩充派生类,将派生类的属性和关联、派生类从基类继承的属性和关联都存储在派生类中,并建立相应的实体对象。例如,EquipmentContainer 的属性及其与设备类 Equipment 之间的关联均存储在 Substation 等派生类中。这样做的好处是可以加快对派生类继承的基类属性和关联的查询。

图 1 中, Substation 与 VoltageLevel 之间、VoltageLevel 与 Bay 之间均是聚集关系,这里忽略了 Substation 与 Bay 之间的聚集关系,因这层关系不是必需的,可以根据需要决定是否建立。

Feeder 及 CompositeSwitch 是配电网模型的特征类,它们与 Substation 之间是聚集关系,其中馈线可看做是间隔在户外的延伸。CompositeSwitch 与 Feeder 之间也是聚集关系。在建立对象实体关系时,Feeder 与 Substation 之间及 CompositeSwitch 与 Substation 之间建立合成聚集关系(共生关系),而 Feeder 与 CompositeSwitch 之间建立共享聚集关系(非共生关系)。

1.2 设备模型

基于 CIM 的配电网建模的设备模型如图 2 所示。

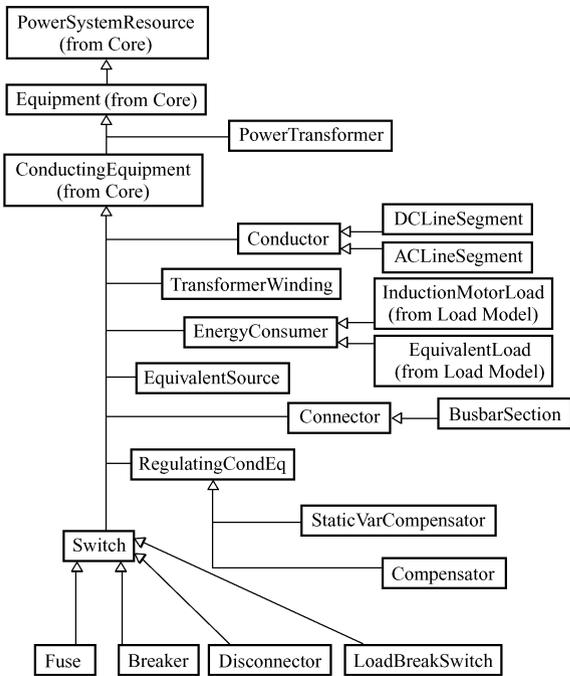


图 2 设备模型
Fig. 2 Equipment model

所有设备类均从设备基类(Equipment)继承。与设备容器类类似,设备类中只有最底层类才建立实体对象,而 Equipment、导电设备类

(ConductingEquipment)、导体类(Conductor)、负荷类(EnergyConsumer)、调节设备类(RegulatingCondEq)、连接器类(Connector)、开关类(Switch)并不建立实体对象。

对所有设备类,需根据设备类型的不同,分别建立与不同设备包容器类之间的关系。例如,开关设备类(Breaker),需要与 VoltageLevel 建立合成聚集关系,与 Bay, Feeder 及 CompositeSwitch 建立共享聚集关系。这样,对某个开关来说一定属于某一个电压等级;若为站内开关时,它属于某一个间隔;若为馈线开关时,它属于某一条馈线;若该开关为组合开关中的开关时,它属于某一个组合开关。所有设备类与 Feeder 和 Bay 建立的聚集关系均为共享聚集关系,如此可保证本文的网络建模方法不但适用于配电网,而且适用于输电网,因而是一种通用的网络建模方法。

对 CompositeSwitch 而言,除与 Switch 的聚集关系外,还需考虑从父类 EquipmentContainer 继承的与 Equipment 之间的聚集关系,这样就可以描述 CompositeSwitch 与其他电力设备类,如母线类(BusbarSection)、负荷类(EnergyConsumer)等设备之间的聚集关系。CompositeSwitch 可用于描述环网开关柜、配电室等设备。

1.3 拓扑模型

基于 CIM 的配电网建模的拓扑模型如图 3 所示。

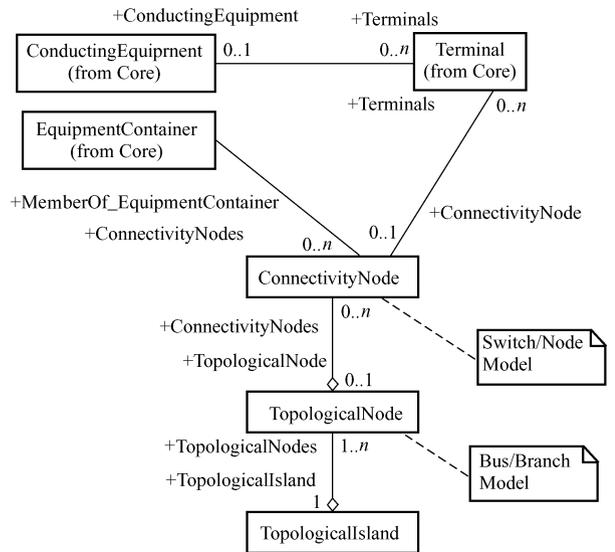


图 3 拓扑模型
Fig. 3 Topology model

由于 EquipmentContainer 并不建立实体对象,因此,其与连接节点类(ConnectivityNode)之间的聚集关系建立在 VoltageLevel 上;类似地,

ConductingEquipment 与端点类(Terminal)之间的聚集关系也建立在各实体设备类上。

上述拓扑模型图中,还给出了拓扑分析的 2 个基本模型,即 Switch/Node 模型和 Bus/Branch 模型,在 IEC 61970 标准中没有对这 2 个模型做进一步的描述。其中:Bus/Branch 模型是基于拓扑节点类(TopologicalNode)的节点/支路模型,即母线模型,该模型主要提供给网络分析应用(例如状态估计、调度员潮流);Switch/Node 模型是基于 ConnectivityNode 的开关/节点模型,是更低层次的网络拓扑模型,当网络拓扑需要更多关心开关状态对网络连通关系的影响或网络拓扑以搜索开关为主时,采用该模型比采用 Bus/Branch 模型更方便、更容易。在配电网中,Switch/Node 模型可用于故障定位、隔离和恢复。

2 配电网一体化追踪拓扑

常规的配电网拓扑通常以建立配电网分析的母线模型为目标,进行配电网的电气岛分析和母线分析;而配电网追踪拓扑则不同,它主要进行以网络连通性分析和网络路径搜索为主的拓扑分析。配电网追踪拓扑通常也采用深度优先搜索和宽度优先搜索算法。

根据任务的不同,配电网追踪拓扑可用于以下追踪功能:供电电源追踪、供电范围追踪、最短路径追踪、连通性追踪等。本文将主要讨论供电电源追踪和供电范围追踪。

2.1 供电电源追踪

供电电源追踪的主要功能是对站内设备或站外馈线设备,通过网络拓扑追踪功能自动追踪到该设备的供电电源点,并将供电路径和电源点在电网接线图上着色显示。供电电源点定义为变电站等值电源(EquivalentSource);站内设备可以是变压器、母线、开关、负荷、电容器等,站外设备可以是馈线段、变压器、母线、开关、负荷、电容器等。

供电电源追踪从追踪设备一端开始进行深度优先搜索,当搜索到电源时停止。若找到电源,则电源追踪结束,将电源和供电路径在网络上着色显示;否则,从追踪设备的另一侧出发进行深度优先搜索,当搜索到电源时停止,若找到电源,则电源追踪结束,将电源和供电路径在网络上着色显示,否则,查找供电电源失败。当追踪设备为母线、负荷、电容器时,由于它们属于单端设备,因此只需搜索一侧;当追踪设备为开关、馈线段时,由于它们属于双端设备,因而可能需要搜索两侧;当追踪设备为变压器时,由于变压器从高压侧供电,故只需要搜索高压侧。

深度优先搜索算法采用链表和栈这 2 种数据结

构实现。其中:链表用于存放供电电源及供电路径;栈用于保存深度优先搜索过程中搜索到的所有设备,采用后进先出策略。深度优先搜索时,首先对追踪设备进行入栈操作,然后追踪设备出栈,加入到链表中,同时搜索与追踪设备一侧直接相连的设备,并将搜索到的设备进行入栈;接着进行出栈操作,并将出栈设备加入到链表中,继续搜索与出栈设备相连但未入栈的设备,对这些设备进行入栈操作;以次类推,直到找到电源设备为止,即完成一条供电路径的查找。

在供电电源追踪时,可能会出现不止 1 个供电电源的情况。例如,图 4 所示的厂站接线图中,假设所有开关 BK1~BK10 均闭合,对母线 BUS2 进行供电电源追踪,则在查找供电电源时,会查找到 2 个供电电源 ES1 和 ES2。

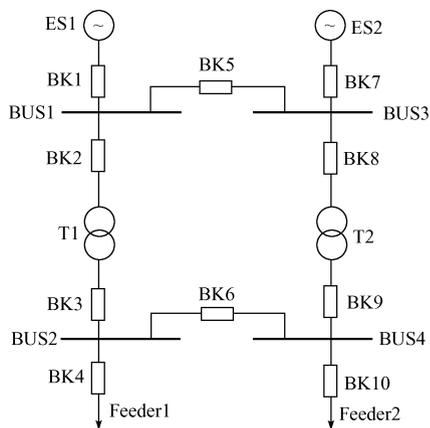


图 4 厂站接线
Fig. 4 Substation diagram

供电电源追踪时,为减少搜索路径,可以利用设备所属电压等级来进行追踪限制,规定电源追踪时只能从低电压等级向高电压等级进行追踪,即只能从变压器低压侧向高压侧进行追踪。另外,为了避免形成供电环路,规定一条搜索路径中同一个设备只能出现 1 次,当出现多次时,丢弃该路径。

如上所述,供电电源及供电路径保存在深度优先搜索的链表数据结构中,一条路径对应一个链表。例如图 4 中,母线 BUS2 的一条供电路径是 ES2→BK7→BUS3→BK8→T2→BK9→BUS4→BK6→BUS2。基于 CIM 的深度优先搜索过程如下:首先取 BUS2 所在连接点(ConnectivityNode),然后根据该连接点包含的设备端点(Terminal),找到开关 BK6,接着,取 BK6 的另一个端点及端点所属连接点,根据该连接点包含的设备端点,找到 BK9,如此搜索下去,直到搜索到 ES2。其中需要注意的设备是母线,母线不是搜索路径中必须的设备,但如果搜索路径中搜索到的连接点包含母线端点,则将该母

线加入到搜索路径中。这样,共搜索到 4 条供电路径,除了前述供电路径外,其余 3 条为:① ES1→BK1→BUS1→BK5→BUS3→BK8→T2→BK9→BUS4→BK6→BUS2;② ES1→BK1→BUS1→BK2→T1→BK3→BUS2;③ ES2→BK7→BUS3→BK5→BUS1→BK2→T1→BK3→BUS2。

2.2 供电范围追踪

供电范围追踪的主要功能是对站内设备或站外馈线设备,通过网络拓扑追踪功能搜索通过该设备供电的所有设备,并将搜索到的设备着色显示。等值电源、变压器、母线、馈线段、开关等设备均可作为供电范围的追踪设备,不考虑负荷、电容器作为供电范围的追踪设备。

供电范围追踪主要采用宽度优先算法,它采用链表和队列这 2 种数据结构。其中:链表用于存放供电范围内的所有设备;队列用于保存宽度优先搜索过程中搜索到的所有设备,采用先进先出策略。宽度优先搜索时,首先对追踪设备进行入队操作,然后追踪设备出队,加入到链表中,同时搜索与追踪设备一侧直接相连的设备,并将搜索到的设备进行入队;接着进行出队操作,并将出队设备加入到链表中,继续搜索与出队设备相连但未入队的设备,对这些设备进行入队操作;以次类推,直到找到所有供电设备为止。

由于追踪设备不同,供电范围追踪的流程也稍有不同。当追踪设备为站内设备时,由于可能存在多电源现象,因此有时仅仅依靠网络拓扑追踪不能判别供电范围,需要借助于设备的潮流方向辅助判断。本文的原则是,首先进行网络拓扑追踪判断,当网络拓扑追踪不足以判别时再借助于潮流方向以辅助判断。

针对不同的追踪设备所采取的供电范围追踪流程为:

1) 等值电源:直接进行宽度优先搜索,当遇到其他电源时,需要检查设备潮流方向。

2) 变压器:直接从低压侧进行宽度优先搜索。

3) 母线:首先查找与该母线相连的所有回路,然后对每条回路进行宽度优先搜索,当该回路没有电源时,该回路所有设备属于供电范围;否则,需要根据设备潮流方向进行判断。

4) 站内开关(不包括馈线出线开关):分别从开关两侧出发进行宽度优先搜索,当搜索到电源时,该侧设备需要根据潮流方向进行判断。

5) 馈线出线开关、站外开关及馈线段:首先从设备一端出发进行宽度优先搜索,如果搜索到电源点,则该侧不属于供电范围,继续查找另一侧;否则结束搜索。

无论追踪设备为何种类型,在进行供电范围追踪时,可以定义如下几条原则:

1) 供电范围不能从变压器低压侧扩大到高压侧,即当搜索过程中搜索到变压器低压侧时,可认为找到了电源,搜索不必继续。

2) 如果变压器低压侧连接的设备只通过该变压器供电,则其属于该变压器的供电范围。

3) 如果变压器低压侧连接的设备通过多个变压器供电,则需要检查设备的潮流方向。

4) 当站内设备由多个电源供电时,该设备是否属于供电范围,需要检查相关设备的潮流方向。

以下将结合供电范围追踪流程及追踪原则,分设备类型举例说明追踪过程要点。

当追踪设备为等值电源时,如图 4 中 ES1,如果搜索到 ES2(假设所有开关都闭合),则需要根据开关 BK5 的潮流方向判断变压器 T2、馈线 Feeder2 及相关设备是否属于 ES1 的供电范围。

当追踪设备为站内变压器时,如果从变压器低压侧开始搜索到其他变压器低压侧,则根据原则 3,需借助于潮流方向进行供电范围判断。例如,当图 4 中变压器 T1 为追踪设备时,如果从 T1 低压侧开始搜索到 T2 低压侧,则开关 BK6、母线 BUS4、馈线 Feeder2 是否属于 T1 的供电范围依赖于流经 BK6 的潮流方向,如果 BK6 的潮流方向是从 BUS2 流向 BUS4,则属于 T1 的供电范围,否则不属于 T1 的供电范围。

当追踪设备为站内母线时,如图 4 中 BUS1,该母线共有 3 个回路:第 1 个回路是等值电源 ES1 回路,由于存在电源且该回路向 BUS1 供电,所以该回路不属于供电范围;第 2 个回路是变压器 T1 回路,由于搜索到 T2 低压侧,根据原则 1,可认为找到了电源,不再搜索,根据原则 3 及原则 4,该回路搜索到的所有 T1 低压侧设备需要检查潮流方向,主要是检查 BK6 的潮流方向,与追踪设备为 T1 时类似;第 3 个回路是 BK5 回路,由于存在另一电源 ES2,因此该回路搜索到的所有设备需要检查潮流方向,主要是检查 BK5 的潮流方向,这与追踪设备为 ES1 时类似。

对于站内开关,如图 4 中 BK2,首先从一侧进行搜索,搜索到电源 ES1 或 ES2,这时需要检查流经 BK2 的潮流方向,由于该侧潮流流入为正,则该侧为电源侧;接着,从 BK2 另一侧进行搜索,其过程与追踪设备为 T1 时类似。

对于馈线出线开关、站外开关及馈线段,如图 4 中 BK4,首先从一侧搜索,当搜索到 T1 或 T2 低压侧时,根据原则 1,可以认为找到了电源,不再搜索,从 BK4 另一侧进行搜索,直到找到供电范围内的所

有设备。

作为供电范围追踪的扩展,某些设备包容器,如 Substation, CompositeSwitch 等,也可以作为追踪对象。例如,当追踪对象为变电站时,从该变电站中所有变压器的低压侧分别进行追踪,所得供电范围的并集即为该变电站的供电范围。

3 结语

CIM 及其扩展模型是一套抽象的电力应用标准信息模型,其有效应用依赖于应用功能的具体实现。依据 CIM,本文给出了其在配电网建模中的具体实现方法。由于变电站内部网络和外部网络统一建模,基于该模型开发的配电网一体化追踪拓扑软件,可处理任意配电网内外各种设备的网络追踪问题。本文提出的配电网模型和追踪拓扑技术可用于配电网的其他应用。

参考文献

[1] WANG Xiaofeng, SCHULZ N N, NEUMANN S. CIM extensions to electrical distribution and CIM XML for the IEEE

radial test feeders. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(3): 1021-1028.

[2] 陈清鹤,刘东,李荔芳. 基于 CIM 建模的配电网三相潮流计算. 电力系统自动化,2005,29(23):49-53.

CHEN Qinghe, LIU Dong, LI Lifang. CIM based three-phase power flow for distribution systems. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(23): 49-53.

[3] 李荔芳,刘东,陈清鹤. 公共信息模型在配电网建模工具中的应用. 电力系统自动化,2005,29(24):55-59.

LI Lifang, LIU Dong, CHEN Qinghe. Application of CIM in distribution grid modeling tool. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(24): 55-59.

[4] 朱见伟,丁巧林,杨宏,等. 配电网 CIM 综合模型的构建与应用. 继电器,2006,34(10):60-63.

ZHU Jianwei, DING Qiaolin, YANG Hong, et al. Construction and application of electrical distribution CIM model. Relay, 2006, 34(10): 60-63.

陈根军(1974—),男,通信作者,博士,高级工程师,主要研究方向:EMS/DMS 的研究和开发。E-mail: chengenjun@nari-relays.com

顾全(1970—),男,博士研究生,高级工程师,主要研究方向:EMS/DMS 的研究和开发。

A CIM-based Integrative Network-tracing Method for Power Distribution Systems

CHEN Genjun, GU Quan (Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Based on IEC 61970 CIM and IEC 61968 CIM extended, a power distribution system model and its implementation are presented. By using the model, network tracing for distribution systems, including power source tracing and service area tracing, is studied. The proposed network tracing method is an integrative method by considering both inside and outside of substation at one time.

Key words: power distribution system; network tracing; power source tracing; service area tracing; CIM